

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу  
Куприяновой Янины Алексеевны на тему: «Методика рационального проектирования конструктивно-технологических решений силовых конструкций летательных аппаратов с использованием топологической оптимизации», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.13. «Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов»

Актуальность диссертационной работы Куприяновой Янины Алексеевны обусловлена необходимостью разработки эффективной методики проектирования силовых конструкций летательных аппаратов (ЛА) для традиционного и аддитивного изготовления. Учет технологических требований в такой методике позволяет находить более эффективные конструктивные и технологические решения, что особенно важно в условиях растущей конкуренции на глобальном рынке авиации.

Одной из основных проблем, которую решают конструкторы в процессе разработки силовых конструкций, является снижение их массы при сохранении прочностных и жесткостных характеристик.

Одним из передовых методов в данной области является топологическая оптимизация (ТО). Этот метод не только позволяет автоматизировать процесс проектирования, но и открывает возможности для поиска новых, нестандартных решений, повышающих эффективность конструкций.

В диссертации решена важная **научно-техническая задача**, связанная с разработкой методики рационального проектирования силовых конструкций ЛА с применением топологической и параметрической оптимизации. При этом учитываются технологические ограничения, что позволяет повысить качество проектируемых конструкций.

В ходе исследования для достижения цели работы Я.А. Куприяновой были решены следующие **задачи**:

1. Проведен анализ современных методов проектирования и оптимизации конструкций ЛА с целью совершенствования методики оптимизации с учетом функциональных и технологических ограничений.
2. Сформулированы этапы топологической и параметрической оптимизации конструкций с учетом требований к силовым элементам ЛА.
3. Разработанная методика успешно применена при разработке конструктивно-технологических решений шпангоутов отсека корпуса и

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ  
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ  
ДОКУМЕНТОВ МАИ

25.11.2024г.

несущих поверхностей беспилотных летательных аппаратов (БЛА) с учетом совокупности критериев жесткости, прочности и минимальной массы.

4. Проведено исследование влияния граничных условий на результаты оптимизации при проектировании силовой панели для бронирования двери вертолета, выполненной из композитного материала, и проведены испытания на прочность.

5. Методика применена при проектировании конструкции аэродинамического руля с учетом требований жесткости, прочности, аэроупругой устойчивости и минимальной массы.

**Научная новизна** диссертационного исследования Я.А. Куприяновой состоит в совершенствовании метода ТО для силовых конструкций ЛА. Это позволило повысить точность расчетов и предложить новый подход к постобработке результатов с использованием аппроксимации функций. В ходе работы разработаны новые конструктивные решения для силовых конструкций ЛА, таких как шпангоуты, панели и несущие поверхности, с учетом их прочности, жесткости, аэроупругой устойчивости и минимума массы.

**Теоретическая и практическая значимость работы** заключается в развитии методов рационального проектирования авиационных конструкций. Разработана методика проектирования силовых агрегатов БЛА для их производства как традиционными, так и аддитивными методами. Практическая значимость заключается в применении этой методики для разработки силовых агрегатов ЛА, что способствует улучшению их качества и снижению затрат на проектирование. В рамках исследования была разработана оптимизированная конструкция для бронирования двери вертолета, проведены испытания и получено подтверждение успешного внедрения результатов исследования.

**Достоверность** полученных результатов подтверждается использованием проверенных методов анализа напряженно-деформированного состояния и аэродинамических характеристик авиационных конструкций, а также математической обработкой расчетных моделей. Эффективность предложенной методики подтверждена натурными испытаниями детали «Поддержка» для бронирования двери вертолета. **Практическая значимость** работы заключается в возможности повышения качества проектных решений основных силовых конструкций ЛА за счет применения разработанной диссертантом методики при проектировании рациональных конструктивно-технологических решений.

Диссертационная работа Я.А. Куприяновой состоит из введения, четырех глав, заключения, перечня сокращений и условных обозначений, списка литературы из 118 наименований и трех приложений.

**Во введении** диссертации автором обоснована актуальность темы исследования, определены цель и основные задачи работы. Также представлены научная новизна исследования, его теоретическая и практическая значимость и основные положения, выносимые на защиту. Кроме того, во введении раскрыты достоверность полученных результатов, их апробация и личный вклад автора в проведенное исследование.

**В первой главе** представлена классификация и выполнен обзор существующих методов проектирования конструкций БЛА. Рассмотрены ключевые особенности структурной оптимизации, а также общие принципы рационального проектирования.

**Во второй главе** изложена задача исследования и предложена методика рационального проектирования, включающая этапы ТО, постобработки результатов и параметрической оптимизации. Целевая функция ТО — минимизация податливости, при этом на объем конструкции накладывается ограничение. Постобработка результатов направлена на представление положения элементов конструкции в аналитическом виде с помощью линейной аппроксимации. В параметрической оптимизации используются полученные размеры для нахождения оптимального конструктивно-технологического решения минимальной массы с учетом ограничения на прочность.

**В третьей главе** представлены результаты применения разработанной методики для рационального проектирования силовых конструкций ЛА, включая шпангоуты БЛА и деталь «Поддержка» для крепления бронепанели двери вертолета. Полученные данные подтвердили эффективность методики для проектирования указанных силовых конструкций. Для шпангоута проведено сравнение: конструкция, спроектированная с использованием новой методики, оказалась на 21% легче, чем та, что создана стандартным методом ТО без постобработки. Аналогичное сравнение в задаче проектирования стыковых шпангоутов показало снижение массы на 10%. На примере детали «Поддержка» изучено влияние граничных условий на ТО, проведены успешные натурные испытания.

**В четвертой главе** решены задачи по рациональному проектированию несущих поверхностей БЛА с учетом ключевых параметров: жесткости, прочности, аэроупругой устойчивости и минимизации массы. Разработана конструкция крыла малого удлинения, созданная с применением аддитивных технологий, и проведено ее сравнение с традиционной конструкцией. Результаты показали, что новое крыло легче типовой конструкции на 24%. При проектировании конструкции аэродинамического руля методика была дополнена этапами, позволяющими обеспечить учет требований аэроупругости. Разработана новая силовая схема аэродинамического руля с балансировочным

носком и изучено влияние параметров балансира на критическую скорость флаттера. Установлено, что оптимальными с точки зрения массы оказались рули с переменной кромкой балансировочного носка. Таким образом, методика оптимизации позволила найти решение, удовлетворяющее всем необходимым критериям прочности, жесткости, аэроупругой устойчивости и минимальной массы.

**В заключении** работы сформулированы выводы, обоснованные в диссертации, и рассмотрены перспективы дальнейшей разработки темы.

По теме работы автором опубликовано шесть статей, из них четыре – в рецензируемых изданиях перечня ВАК при Минобрнауки России. Одна статья опубликована в международном журнале, индексируемом в международных реферативных базах данных Scopus. Основные результаты апробированы и докладывались на международных конференциях.

### **Замечания по работе:**

1. Недостаточно показано соотношение структурного синтеза и параметрической оптимизации, употребление термина «концептуальное проектирование» возможно, но более классическим является «техническое предложение» или «предэскизное проектирование» (Егер С.М.).
2. Не указаны критерии выбора итогового объема конструкции при решении задачи топологической оптимизации.
3. Для параметрической оптимизации автором выбран метод случайного поиска. Не приводится сравнение предложенного метода с другими методами оптимизации.

Несмотря на указанные недостатки, работа представляет серьезное исследование, выполненное на хорошем научном уровне. Содержание автореферата и сформулированные в нем выводы полностью соответствуют результатам, представленным в диссертации. Публикации автора отражают основные положения диссертации.

### **Заключение**

Основным научным результатом диссертационной работы является разработанная автором методика рационального проектирования силовых агрегатов ЛА, позволяющая решить актуальную научную задачу, направленную на повышение качества проектируемых конструкций. Достоверность результатов подтверждается реализацией предложенной

методики при решении задач проектирования основных силовых агрегатов ЛА: конструкций корпуса и несущих поверхностей.

Диссертационная работа Куприяновой Янины Алексеевны на тему «Методика рационального проектирования конструктивно-технологических решений силовых конструкций летательных аппаратов с использованием топологической оптимизации» удовлетворяет требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Считаю, что ее автор, Куприянова Янина Алексеевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.13. Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов.

Старший научный сотрудник ИМАШ РАН,  
кандидат технических наук



Раков Дмитрий Леонидович

01.11.2024

Адрес электронной почты: [rdl@mail.ru](mailto:rdl@mail.ru)

Телефон: +7 (905) 760-29-36

Полное наименование организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт машиноведения имени А.А. Благонравова Российской академии наук»

Почтовый адрес организации: Россия, 101000, Москва, Малый Харитоньевский переулок, д.4

Адрес официального сайта организации в сети «Интернет»: <http://imash.ru/>

Адрес электронной почты организации: [info@imash.ru](mailto:info@imash.ru)

Телефон: 8 (495) 628-87-30

Подпись Ракова Дмитрия Леонидовича заверяю

*Зав. кафедрой*  
*Сотрудник ИМАШ РАН*  
*С отзывом ознакомлен*  
*Сотрудник ИМАШ РАН*  
*05.11.2024*



*С отзывом ознакомлен*  
*Сотрудник ИМАШ РАН*  
*05.11.2024*